

02P-19957



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Off nlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 43 458 A 1**

⑤① Int. Cl. 6:  
**G 05 B 13/04**

②① Aktenzeichen: 196 43 458.0  
②② Anmeldetag: 10. 10. 96  
②③ Offenlegungstag: 16. 4. 98

(2)

DE 196 43 458 A 1

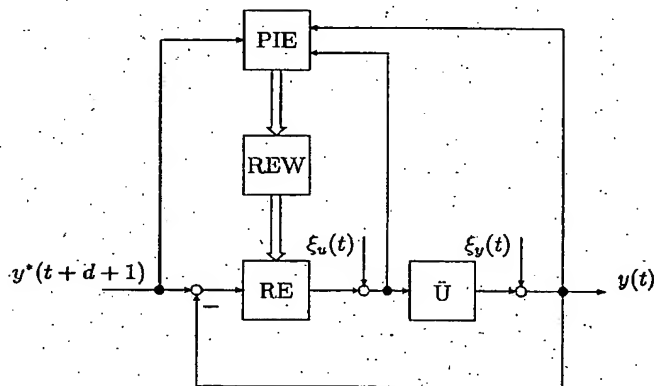
⑦① Anmelder:  
Ebert, Wolfram; Dipl.-Ing., 14557 Wilhelmshorst, DE

⑦② Erfinder:  
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Einrichtung zur Parameteridentifikation einer Übertragungsstrecke

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Parameteridentifikation (PIE) einer Übertragungsstrecke ( $\hat{U}$ ), wobei im geschlossenen Regelkreis an den Reglereingang oder Streckereneingang ein Anregungssignal angelegt wird. In einer dreistufigen Parameterschätzung wird zuerst eine ungestörte Streckeneingangsgröße rekonstruiert. In einer zweiten Stufe erfolgt die Rekonstruktion der ungestörten Streckenausgangsgröße. Die so rekonstruierten Streckengrößen werden in der dritten Stufe dem Parameterschätzer zugeführt und die Übertragungsfunktion der Übertragungsstrecke ( $\hat{U}$ ) wird ermittelt. Die Erfindung wird angewandt bei adaptiven und selbst-einstellenden Reglern.



DE 196 43 458 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Parameteridentifikation einer Übertragungsstrecke im geschlossenen Regelkreis gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

5 Aus der DE-OS 39 29 615 ist eine Parameteridentifikation bei adaptiven Reglern bekannt. Ein adaptiver Regler kann sich selbstständig an die zeitveränderlichen Parameter einer Übertragungsstrecke anpassen. Eine Untergruppe stellen die selbsteinstellenden Regler dar, die nur bei der Inbetriebnahme bzw. nach einem Anforderungssignal eine Parameteridentifikation der Regelstrecke vornehmen. Zur Adaption ist ein Verfahren zur Erfassung und Auswertung der Prozeßinfor-  
10 mationen und ein Verfahren zur prozeßmodellabhängigen Auslegung des Reglers nötig. Es wird ein Verfahren für dieses Problem mit Hilfe eines identifizierten Streckenmodells angegeben. Betrachtet werden dort einschleifige lineare Regelkreise des Typs PID. Die anwendbaren Regelstreckensystemen dürfen dabei jedoch nur geringfügig durch Rauschgrößen und Ausgangsstörungen beeinträchtigt sein. Gleichwohl treten bei einigen Anwendungen erhebliche stochastische und deterministische Störungen auf, die die Genauigkeit der Identifizierung wesentlich beeinträchtigen. Typische Beispiele sind flexible mechanische Systeme und Flugzeugregelungen.

15 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unabhängig von dem zugrundeliegenden Verfahren der Reglerbestimmung eine Einrichtung zur Parameteridentifikation einer Übertragungsstrecke im geschlossenen Regelkreis bei Einwirken von Rauschgrößen und Störungen zu schaffen.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist die neue Einrichtung erfindungsgemäß die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannten Merkmale auf.

20 Die Abbildung Fig. 1 zeigt die Einrichtung zur Parameteridentifikation nach Patentanspruch 1 und Unteranspruch 2 mit einem Anregungssignal am Reglereingang. In Abbildung Fig. 2 ist die Einrichtung zur Parameteridentifikation mit Erzeugung eines Anregungssignals am Übertragungsstreckeneingang nach Patentanspruch 1, Unteranspruch 2 dargestellt.

25 Die Reglerentwurfseinrichtung (REW) in oben genannter Abbildung ist abhängig vom dem zugrundeliegenden Regelverfahren, häufig benutzt werden zum Beispiel PID, Polvorgabe und prädiktive Regelungen.

Die Parameteridentifikationseinrichtung (PIE) ist jedoch unabhängig vom Entwurfsverfahren. Die Abbildung Fig. 3 zeigt die Bestandteile der Baugruppe Parameteridentifikationseinrichtung nach Patentanspruch 1. Dabei bezeichnet RKE das Modul zur Rekonstruktion des Eingangs, RKA das Modul zur Rekonstruktion des Ausgangs der Übertragungsstrecke und MS den Modellschätzer.

30 Die Baugruppen Regler, Reglerentwurfseinrichtung und Parameteridentifikationseinrichtung können als Operationsverstärkerschaltung in analoger Schaltungstechnik, als Rechenschaltung in digitaler Schaltungstechnik oder in Hybridform ausgeführt werden.

Der zunehmenden Bedeutung von digitaler Schaltungstechnik Rechnung tragend, wird im folgenden der diskrete Verschiebungsoperator  $q^{-1}$  und die damit verbundene  $z$ -Transformation benutzt.

35 Die Übertragungsstrecke ( $\ddot{U}$ ) wird üblicherweise im  $z$ -Bereich wie folgt dargestellt

$$40 \quad \ddot{U}(z^{-1}) = \frac{z^{-d-1}B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (1)$$

wobei  $d$  die Totzeit angibt. Für einschleifige Regelkreise sind  $B$  und  $A$  Polynome und für mehrschleifige Systeme Matrizen in  $z^{-1}$ . Auch Streckenmodelle in  $I-T_1-T_0$ -Form lassen sich in diese Form überführen. Der Regler (RE) kann in Polynomform (Matrizen) angenommen werden zu

$$45 \quad RE(z^{-1}) = \frac{R(z^{-1})}{S(z^{-1})D(z^{-1})} \quad (2)$$

50 dabei enthält  $D$  den Integrator, damit keine bleibende Regelabweichung bei Strecken ohne Ausgleich auftritt. Erweitert werden kann das Modell der Übertragungsstrecke um eine von außen einwirkende Störgröße  $\xi_y$ .

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t-d-1) + v(t) \quad (3)$$

$$55 \quad D(q^{-1})v(t) = C(q^{-1})\xi_y(t) \quad (4)$$

Für die folgende Verwendung der Streckenein- und Streckenausgangsgrößen aus dem geschlossenen Regelkreis wurde in der Fachliteratur folgende Filterung  $E(z^{-1})$  angegeben [Äst 93].

$$60 \quad E(z^{-1}) = \frac{S(z^{-1})D(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (5)$$

65 wobei  $P_c(z^{-1})$  die Pole im geschlossenen Regelkreis angibt.

$$P_c(q^{-1}) = S(q^{-1})D(q^{-1})A(q^{-1}) + q^{-d-1}B(q^{-1})R(q^{-1}) \quad (6)$$

Die mit  $E(z^{-1})$  gefilterten Größen werden mit  $f$  indiziert.

Das Verhalten im geschlossenen Regelkreis kann für den gestörten Übertragungsstreckeneingang angegeben werden mit

$$P_c(q^{-1})u_f(t) = A(q^{-1})T(q^{-1})y_f^*(t+d+1) - R(q^{-1})C(q^{-1})\xi_f(t) \quad (7)$$

Wie aus Gleichung (7) hervorgeht, kann der ungestörte Streckeneingang  $\hat{u}_f$  rekonstruiert werden.

$$P_c(q^{-1})\hat{u}_f(t) = A(q^{-1})T(q^{-1})y_f^*(t+d+1) \quad (8)$$

Die damit zusammenhängende Übertragungsfunktion

$$\frac{AT}{P_c}$$

wird aus den bekannten Größen des Regelkreises geschätzt. Die Verwendung der Ausgangsstörübertragungsfunktion ergibt:

$$P_c(q^{-1})\hat{u}_f(t) = S(q^{-1})D(q^{-1})A(q^{-1})\tilde{y}_f^*(t+d+1) \quad (9)$$

mit

$$S(q^{-1})D(q^{-1})\tilde{y}_f^*(t+d+1) = T(q^{-1})y_f^*(t+d+1) \quad (10)$$

Dabei kann die Ausgangsstörübertragungsfunktion zwischen  $y_{in}$  und dem Regelfehler  $e$  wiedergefunden werden.

$$e_f(t) = S_o(q^{-1})y_{inf}(t+d+1) \quad (11)$$

mit

$$S_o(z^{-1}) = \frac{S(z^{-1})D(z^{-1})A(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (12)$$

Der ungestörte Streckeneingang kann auch mit der folgenden Störübertragungsfunktionen rekonstruiert werden.

$$P_c(q^{-1})\hat{u}_f(t) = T(q^{-1})D(q^{-1})A(q^{-1})y_f^*(t+d+1) \quad (13)$$

mit der Schätzung

$$u_f(t) = S_1(q^{-1})y_f^*(t+d+1) \quad (14)$$

Die Störübertragungsfunktion  $S_1$  ist damit definiert zu:

$$S_1(z^{-1}) = \frac{T(z^{-1})D(z^{-1})A(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (15)$$

Die Eingangsstreckenrekonstruktion mit Hilfe der Störübertragungsfunktion  $S_2$  ergibt sich zu

$$P_c(q^{-1})\hat{u}_f(t) = D(q^{-1})A(q^{-1})y_{inf}^*(t+d+1) \quad (16)$$

mit der Schätzung

$$u_f(t) = S_2(q^{-1})y_{inf}^*(t + d + 1) \quad (17)$$

Die Störübertragungsfunktion  $S_2$  ist

$$S_2(z^{-1}) = \frac{D(z^{-1})A(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (18)$$

Die Übertragungsstrecke mit rekonstruierten Eingang kann wie folgt umgeschrieben werden.

$$A(q^{-1})y_f(t) = B(q^{-1})\hat{u}_f(t - d - 1) + A(q^{-1})v_{1f}(t) \quad (19)$$

$$P_c(\theta_1, q^{-1})v_{1f}(t) = S(\theta_1, q^{-1})C(\theta_1, q^{-1})\xi_f(t) \quad (20)$$

Der Vektor  $\theta_1$  gibt an, daß es sich um die Schätzung im ersten Rekonstruktionsschritt handelt. Im zweiten wird ausgehend von der Beschreibung des gestörten Regelstreckenausgangs

$$P_c(q^{-1})y_f(t) = q^{-d-1}B(q^{-1})T(q^{-1})y_f^*(t + d + 1) + S(q^{-1})C(q^{-1})\xi_f(t) \quad (21)$$

der ungestörte Regelstreckenausgang rekonstruiert.

Der rekonstruierte Regelstreckenausgang ergibt sich zu

$$P_c(q^{-1})\hat{y}_f(t) = q^{-d-1}B(q^{-1})T(q^{-1})y_f^*(t + d + 1) \quad (22)$$

mit der Schätzung

$$y_f(t) = S_3(q^{-1})y_f^*(t + d + 1) \quad (23)$$

Dabei gibt  $S_3$  die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises an.

$$S_3(z^{-1}) = \frac{z^{-d-1}B(z^{-1})T(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (24)$$

Eine weitere Möglichkeit den Regelstreckenausgang zu rekonstruieren ergibt sich aus der folgenden Gleichung.

$$P_c(q^{-1})\hat{y}_f(t) = q^{-d-1}B(q^{-1})y_{inf}(t + d + 1) \quad (25)$$

mit

$$y_f(t) = S_4(q^{-1})y_{inf}(t + d + 1) \quad (26)$$

Die dazugehörige Störübertragungsfunktion ist wie folgt definiert

$$S_4(z^{-1}) = \frac{z^{-d-1}B(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (27)$$

Nach der Rekonstruktion des ungestörten Streckeneingangs und des ungestörten Streckenausgangs ergibt sich für den im dritten Schritt folgenden Schätzer für das eigentliche Streckenmodell

$$A(q^{-1})\hat{y}_f(t) = B(q^{-1})\hat{u}_f(t - d - 1) + A(q^{-1})v_{1f}(t) - A(q^{-1})v_{2f}(t) \quad (28)$$

mit

$$P_c(\theta_2, q^{-1})v_{2f}(t) = S(\theta_2, q^{-1})C(\theta_2, q^{-1})\xi_f(t) \quad (29).$$

Gleichung (28) beschreibt den Effekt der Störunterdrückung. Wenn die Störübertragungsfunktionen im ersten und zweiten Schritt exakt bestimmt wurden, heben sich die Störanteile  $v_1$  und  $v_{2f}$  genau auf.

Neben der Möglichkeit die Referenzsequenz  $y^*(t+d+1)$  als Anregung zu benutzen, kann eine Anregung auch direkt vor der Übertragungsstrecke mittels  $\xi_u$  eingespeist werden. Daraus ergibt sich der Vorteil, daß spektral betrachtet die Anregungsfrequenz nur mit der Ausgangsstörübertragungsfunktion gefiltert wird.

Bei der zuvorbeschriebenen Anregung über  $y^*(t+d+1)$  tritt ein zusätzlicher Filterterm

$$\frac{T}{SD}$$

auf.

Der gestörte Streckeneingangswert ergibt sich mit Anregung über  $\xi_u$  zu

$$P_c(q^{-1})u_f(t) = S(q^{-1})D(q^{-1})A(q^{-1})\xi_{uf}(t) - R(q^{-1})C(q^{-1})\xi_f(t) \quad (30).$$

Der ungestörte Streckeneingang  $\hat{u}_f$  kann aus der Anregungsgröße rekonstruiert werden.

$$P_c(q^{-1})\hat{u}_f(t) = S(q^{-1})D(q^{-1})A(q^{-1})\xi_{uf}(t) \quad (31).$$

Die damit zusammenhängende Ausgangsstörübertragungsfunktion wird wie folgt geschätzt

$$u_f(t) = S_0(q^{-1})\xi_{uf}(t) \quad (32)$$

mit

$$S_0(z^{-1}) = \frac{S(z^{-1})D(z^{-1})A(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (33)$$

Eine weitere Möglichkeit die Ausgangsstörübertragungsfunktion zu schätzen besteht mit

$$y_{inf}(t) = S_0(q^{-1})\xi_{uf}(t) \quad (34).$$

Der gestörte Streckenausgang ergibt sich im geschlossenen Regelkreis und Anregung über  $\xi_u$  zu

$$P_c(q^{-1})y_f(t) = q^{-d-1}S(q^{-1})D(q^{-1})B(q^{-1})\xi_{uf}(t) - S(q^{-1})C(q^{-1})\xi_f(t) \quad (35).$$

Der ungestörte rekonstruierte Streckenausgang ist dann gegeben durch

$$P_c(q^{-1})\hat{y}_f(t) = q^{-d-1}S(q^{-1})D(q^{-1})B(q^{-1})\xi_{uf}(t) \quad (36).$$

Dabei kann die Störübertragungsfunktion  $S_5$  benutzt werden, mit

$$y_f(t) = S_5(q^{-1})\xi_{uf}(t) \quad (37)$$

und

$$S_5(z^{-1}) = \frac{z^{-d-1}S(z^{-1})D(z^{-1})B(z^{-1})}{P_c(z^{-1})} \quad (38)$$

Des weiteren erhält man  $S_5$  durch Schätzung von

$$y_f(t) = S_5(q^{-1})y_{inf}(t) \quad (39).$$

Für das Anregungssignal gilt die Forderung nach einer Anregung der Übertragungsstrecke über ein breites Frequenzband. Damit finden häufig Rechteckfolgen mit zufälligen Nulldurchgängen, Rauschsignale oder rampenförmige Impulse Verwendung.

#### Literatur

[Åst93] K.J. Åström. Matching criteria for identification and control. In Proceedings 2nd European Control Conference, Groningen, The Netherlands, 1993.

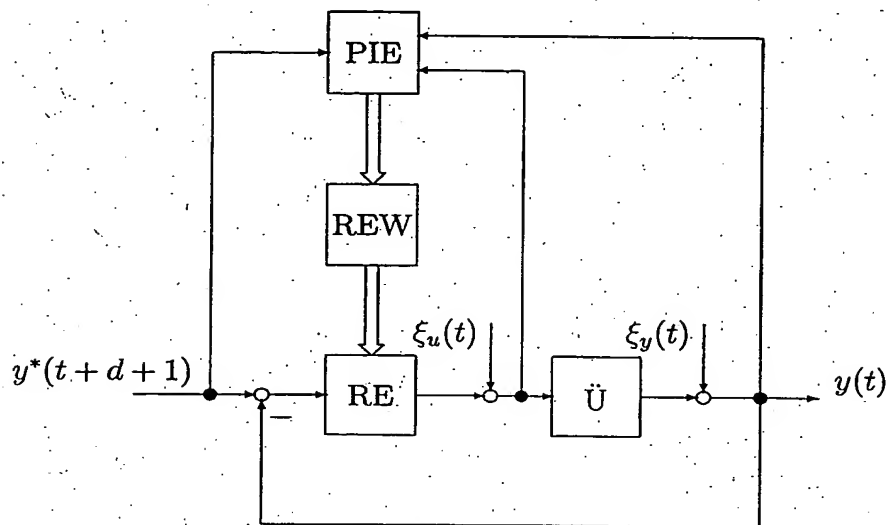
- 5 1. Einrichtung zur Parameteridentifikation einer Übertragungsstrecke, wobei Ein- und Ausgangsgrößen der Übertragungsstrecke und ein Eingangssignal des geschlossenen Regelkreises erfaßt werden, mit deren Hilfe das parametrische Schätzmodell der Übertragungsstrecke geschätzt wird, **dadurch gekennzeichnet**,  
– daß das ungestörte Streckeneingangssignal und das ungestörte Streckenausgangssignal auf der Grundlage eines Anregungssignales rekonstruiert werden,  
– daß Mittel zum Erzeugen eines Anregungssignals vorgesehen sind,  
– daß die Übertragungsstrecke über ein bis mehrere Eingänge und über ein bis mehrere Ausgänge verfügt.
- 10 2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
– daß die Mittel ein Eingangssignal ( $y_{ref}$ ) am Reglereingang mit der Eigenschaft der Anregung über ein Frequenzband erzeugen,  
– daß die Mittel ein Eingangssignal ( $x_u$ ) am Eingang der Übertragungsstrecke mit der Eigenschaft der Anregung über ein Frequenzband erzeugen.
- 15 3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
– daß das parametrische Schätzmodell linear in den Parametern ist,  
– daß das parametrische Schätzmodell nichtlinear in den Parametern ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet,  
– daß Störübertragungsfunktionen verwendet werden, um den ungestörten Übertragungsstreckeneingang und ungestörten Übertragungsstreckenausgang zu rekonstruieren.
- 20 5. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,  
– daß die dem geschlossenen Regelkreis entnommenen Informationen gefiltert werden.
6. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,  
– daß die beschriebene Einrichtung zeitlich mehrfach nacheinander angewendet wird.
- 25

---

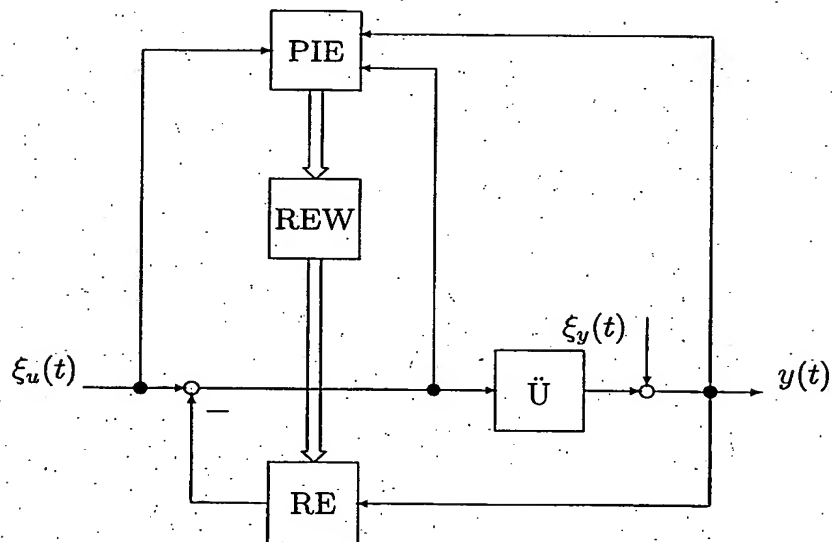
Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

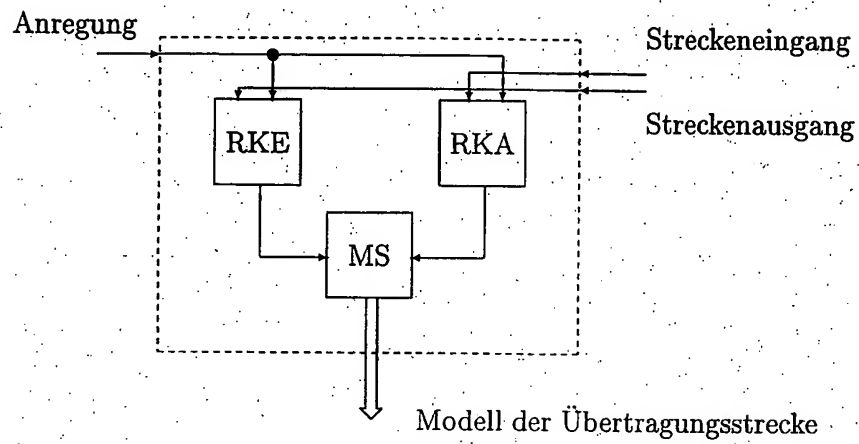
## 1.4 Zeichnungen



Figur Nr. 1



Figur Nr. 2



Figur Nr. 3